

土壌ガス中のラドンによる関東平野北西部の活断層調査

加藤 完* 吉川清志** 高橋 誠** 丸 賢一***

KATO Kan, KIKKAWA Kiyoshi, TAKAHASHI Makoto and MARU Kenichi (1996) A study on detecting active faults in the northwest part of the Kanto Plain using radon gas in soils. *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol. 47 (5), p. 291-303, 14 figs., 2 tables.

Abstract: Scintillation and α -track etching methods were applied to measure radon gas concentrations in soils in order to detect the locations of the active Tachikawa, Fukaya, Kushibiki, and Hirai faults. Radon is highly concentrated on the flexure scarp of the Tachikawa fault. High concentrations of radon were observed on the flexure scarp and the foot wall of the Fukaya fault. Wide ranges of values were noted on survey lines at both the Kushibiki and Hirai faults. It appears that the fault plane of the Tachikawa fault extends to near the surface since alluvial sediments covering the fault are thin. The sediments increase in thickness from the Fukaya fault to the Kushibiki and Hirai faults. As a result the influence of the dislocation caused by the faults is less clear at the Fukaya fault and ambiguous at the Kushibiki and Hirai faults. Measuring CO_2 gas concentrations together with radon may be effective in detecting active faults since it was noted that CO_2 weakly correlates with radon.

要 旨

関東平野北西部にある立川・深谷・櫛挽及び平井の各活断層に対して、シンチレーション法と α トラック法によるラドン探査を行い、一部の地点では CO_2 の濃度も測定した。立川断層では撓曲崖で高いラドン濃度が顕著に現れる。深谷断層では撓曲崖以外の下盤側にも、また櫛挽断層では撓曲崖を含む広い範囲で高濃度のラドンがみとめられる。立川断層付近では断層を覆う未固結の堆積物が比較的薄いため基盤の食い違いが地表近くまで延びているのに対し、深谷断層は堆積物がやや厚く、櫛挽断層及び平井断層はさらに堆積物が厚くなり、それに伴って基盤のずれが地表に反映しにくくなる。 CO_2 濃度はラドン濃度と正相関するので、両者の併用は断層の有無と分布位置を推測する、より確実な手法といえる。

1. はじめに

関東平野の北西部には北西-南東の走向をもつ活断層があり、その主なものは立川断層・櫛挽断層・深谷断層

及び荒川断層で、これらは関東山地の地質構造やその北東縁を限る中央構造線の走向に平行し、深谷断層以外は北東側隆起の縦ずれ断層である(東京都防災会議, 1977)。これらは首都圏近傍の活断層としてその分布位置と活動度が注目されている。

筆者らは、それらの活断層の中から立川断層・深谷断層・櫛挽断層及び平井断層を対象として、土壌ガス中のラドン濃度をシンチレーション法又は α トラック法で測定し、一部の地点では、 H_2 と CO_2 の濃度も同時に測定した。その結果をもとに、断層の位置確認に対する有効性を検討した(第1図)。

地下から地表に湧出するガスを指標とする地化学探査法は、資源・温泉・地熱及び断層の各探査、並びに地震予知などの観点から研究されている。ガスの発生機構は

1. 地下深所で岩石と水が反応した結果によるもの
2. 岩石や土壌の U, Th, K などの放射壊変により生じるもの
3. 大気由来のもの
4. 植物や微生物に関するもの

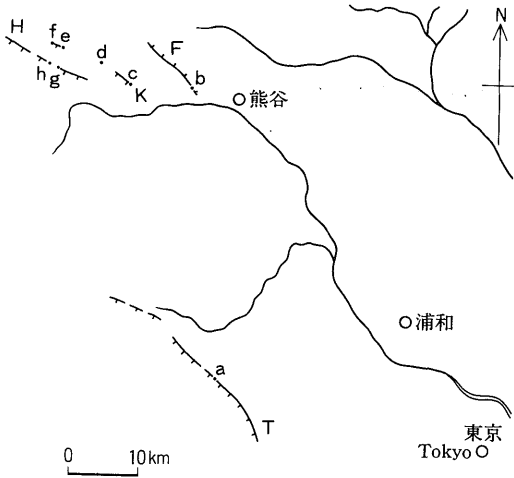
が、それぞれ混在している(第2図)。これらはいずれも主として地下の断層系を通路として地表に上昇する。したがってガスの組成や濃度を地表で調べることにより、断層系の有無と位置を推測することが可能となる。

Keywords: soil gas, radon, α track, carbon dioxide, hydrogen, active fault, Kanto plain, geochemistry.

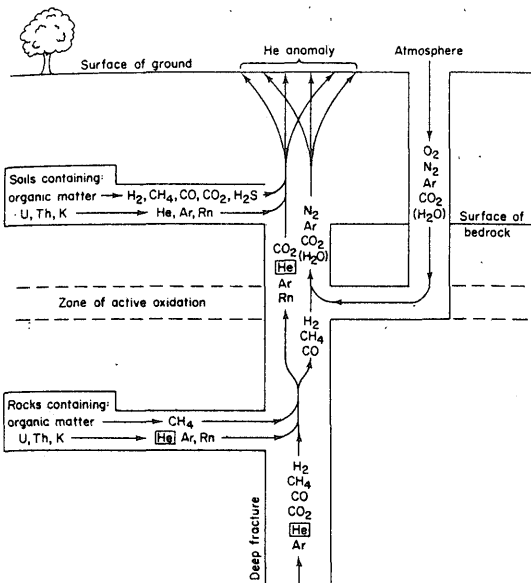
* 三届コンサルタント株式会社, 元環境地質部 (Sansen Consultant CO., Limited, 2-4-10, Kabukicho, Shinjuku, Tokyo, 160 Japan; ex-Environmental Geology Department (GSJ))

** 環境地質部 (Environmental Geology Department (GSJ))

*** パリノ・サーヴェイ株式会社 (Parino Survey CO., 1-10-5, Honcho, Nihonbashi, Chūōku, Tokyo, 103 Japan)



第1図 関東平野北西部の活断層と探査地点
 T: 立川断層, F: 深谷断層, K: 榑挽断層, H: 平井断層,
 活断層研究会(1991)の100万分の1日本活断層図に加筆
 Fig. 1 Location map of the survey points.
 T: Tachikawa fault, F: Fukaya fault, K: Kushibiki fault, H: Hirai fault.



第2図 地下からのガス発生機構 Rose et al. (1979) による
 Fig. 2 Sources and processes of migration of gases
 from underground fracture zones.
 From Rose et al. (1979)

2. 関東平野北西部の活断層

筆者らが実施したラドン探査の対象は、第1図に示す立川断層(T)のa、深谷断層(F)のb、榑挽断層(K)のc・d・e・f及び平井断層(H)のg・hの計8地点である。

2.1 立川断層

立川断層は、東京都青梅市北東の阿須山丘陵(加治丘陵)の中部から南東へ延び、多摩川の旧扇状地を横切り、東京都瑞穂町箱根ヶ崎を経て、国立市矢川付近まで地形的に追跡できる。この間の距離は約25kmである。変形地形は主に段丘面(下末吉面・立川面・青柳面)上の比高5-6m以内の撓曲崖であって、いずれも北東側が相対的に隆起している。金子台の南及び立川市街地では、撓曲崖地形ははっきりしない。阿須山丘陵では笹仁田峠-岩蔵間の谷を通るが、その両側に約30mの高度不連続があり、同じく北東側隆起の傾向が認められる。地質学的にも、この地形線の両側の地下で上総層群の飯能礫層と仏子粘土層の層準に約70mの食い違い(北東側隆起)がある。また撓曲崖の斜面の切割で立川ローム層や礫層の撓曲や小断層が観察される(東京都防災会議, 1977)。

2.2 深谷断層

埼玉県深谷市のJR深谷駅西側の急斜面(比高約10m)が、深谷断層による南西側隆起の撓曲崖である。崖の上の平坦面(榑挽面)は武蔵野面に、崖下の深谷駅や市街地のある御稜威ヶ原面は立川面にそれぞれ相当する。崖の比高は必ずしも断層変位量を示さないが、崖下の面の地下数mには榑挽面を構成する礫層があることなどから、変位量は14m程度である。この崖面を構成する礫層及びローム層が、一般に崖の斜面とほぼ平行に撓んでいるので撓曲崖である。崖の上面が崖線付近でふくらんでいることから、逆断層と推定する。

この断層崖は、北西方向に埼玉県岡部町岡付付近まで地形的に追跡されるが、次第に緩傾斜になる。岡部駅の北方では国道の北側で榑挽面が撓んでいるが、その北西では小山川の沖積面に覆われて明らかでない。また南東に向かっては御稜威ヶ原面を横断して、三ヶ尻まで明瞭な断層崖(比高5-6m)が連続し、それ以南では荒川の沖積面のため不明になる。この断層は岡部町岡付付近から三ヶ尻まで長さが10kmあり、その変位速度は榑挽面以後14m/6-8万年、御稜威ヶ原面以降5.5m/2万年で、いずれも約0.2-0.3m/10⁸年(B級)である(東京都防災会議, 1977)。

2.3 榑挽断層

榑挽断層は、埼玉県北西部の荒川の扇状地面である榑

挽面上に西側が低下した断層崖をつくる。この断層崖の比高は約3mであるが、低下側には埋積地形ができているので、断層の変位量はそれ以上ある。断層線の両側の試錐柱状図(地質調査所未公表資料)の比較から、扇状地礫層のみかけ垂直変位量は約6mと見積られている。

この断層は、櫛挽台地北側の埼玉県美里町古郡付近では、より低位の段丘面に比高約1mの段をつくっている。地形面変位は、その北西では神流川右岸の神川町植竹付近まで明らかではない。植竹集落の中央や南には神流川の低位段丘が約5mの比高の崖をつくり、その南側(上流側)が低下している。その西方延長にあたる神流川左岸本郷-寺山間の段丘面上にも南側低下の崖がある。さらに西に向かって、庚申山の丘陵の南限線に沿う小地溝状の凹地形が、また群馬県藤岡市東平井の住宅地のほぼ南縁、及び西平井のほぼ北限にも段丘上にわずかに南下がりの地形がそれぞれ認められ、中原の北側の段丘面と丘陵の境界付近を経て平井断層にはほぼ合すると推定される。

これらの特徴から、櫛挽断層は櫛挽台地から西平井西方まで達していると考えられることができる。この間の長さは約20km、変位はすべて北東側隆起である。平均変位速度は櫛挽面を武蔵野面相当とすると3-6m/8万年(C級)、植竹付近の段丘面を立川段丘相当面とすると、5m/2万年(B級)である(東京都防災会議, 1977)。Abe (1974)は1931年9月21日の西埼玉地震(M6.9)は櫛挽断層の東端部が活動したとしている。

2.4 平井断層

平井断層は、群馬県藤岡市南西、鮎川の左岸中原付近の高位段丘(鮎川の旧扇状地)に明瞭な断層崖(比高9.5m, 北東隆起)を作っている。また鮎川の右岸、貯水池下の段丘面にも南西側(上流側)が低下する約1.5mの変位がある。中原から北西では明確な断層地形はないが、土合川の合流地点付近、鑛川右岸の段丘面に高度の不連続(東側が低い)がある。断層は南東に向かって埼玉県児玉町南方、粉木付近まではほぼ丘陵の北縁に沿って、明瞭な線状構造を示す。この線状構造は、神流川以東では三波川帯の結晶片岩とその北の第三紀層との境界線に沿っており、埼玉県神川町金鑽北方や飯倉-高柳間ではその境界断層が観察される。土合川から粉木までの長さは約15kmである。

中原付近の断層崖の地形面を武蔵野面相当と考えて、その年代を約8万年前、鮎川右岸の段丘を立川面相当として約2万年前とすると、北側の平均隆起速度は0.1m強/10⁵年(B級)である(東京都防災会議, 1977)。

3. 測定方法

土壌ガスの測定は、ラドンに関しては携帯用ラドン計によるシンチレーション法と硝酸セルローズフィルムを用いたαトラック法で、また水素については水素センサー、二酸化炭素は二酸化炭素検知管によって、それぞれ行った。

3.1 シンチレーション法

3.1.1 測定機器

測定に用いた携帯用ラドン計EDA製RD-200は、観測孔から採取した土壌ガス中のラドンの壊変によって生じたα線が、容器の内壁に塗ったZnS(Ag)に当たって蛍光を発する原理(シンチレーション)を利用する。その発光を電気パルス信号に変換し光電子増倍管で増幅して、毎分当たりのカウント数(cpm)を計測する。

3.1.2 観測孔

測線は地表に現われた撓曲崖、沖積面では断層が通っていると推定される位置を、それぞれ中心として道路沿いに設置する。観測孔の間隔は、断層が推定される区間では5m、それ以外では10m間隔とした。まず電動オーガーで孔径5cm、深度1mの観測孔を掘さくする。その孔に、先端10cmの部分に穴をあけた直径1.3cmの塩化ビニル製の導管を差し入れる。その導管の穴あきの部分は裸孔にして、観測孔の上部は充填する(第3図a)。

掘さくの衝撃で岩石が砕かれたことによってH₂が発生し、土壌ガス中のH₂濃度が定常値より高くなるので(水林ほか, 1986)、その効果を除くために掘さく直後に二口注射器で空気を1,000ml抜き出してから導管を密栓する。測定は掘さくした翌日に行った。

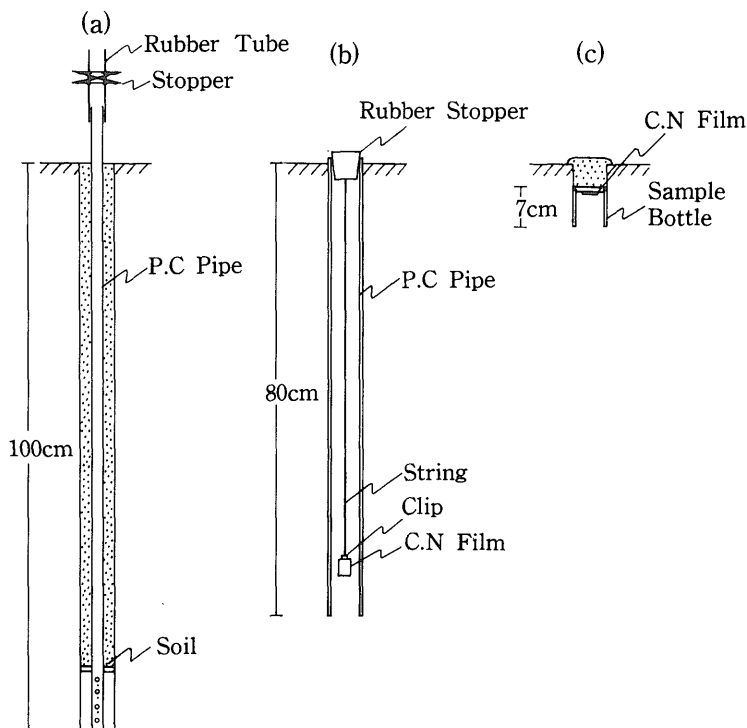
3.1.3 測定方法

まずラドン計のバックグラウンド値(1分間のα線カウント数)を計測する。次にハンドポンプを用いて、土壌ガス300mlを観測孔から手早くラドン計のシンチレーションセルに送り込む。ラドンの壊変によって発生するα線量を、シンチレーションセルを閉鎖系にした時点から3分後まで、各1分間ずつ計3回計測する。この計測値からバックグラウンド値を引いた計数値をそれぞれC₁、C₂、C₃として、²²²Rnの計数値(cpm)を次の式で求める。

$$^{222}\text{Rn} = 0.87 C_3 + 0.32 C_2 - 0.34 C_1$$

ここで上式の係数は、時間変化を考慮して定めた。

ちなみにラドンのα壊変によって生ずる同位体には、ウラン系列の²²²Rn(狭義のラドン, 半減期3.83日)、トリウム系列の²²⁰Rn(トロン, 52秒)、アクチニウム系列の²¹⁸Rn(アクチノン, 4秒)の3つが存在する。これら



第 3 図 観測孔模式図 a: シンチレーション用, b, c: α トラック用
 Fig. 3 Schematic diagram of observation holes.
 a: scintillation method, b and c: α -track method

のうち ^{219}Rn は自然界における存在量は数%で半減期も短かいので無視し、シンチレーション法で計測された α 線が ^{222}Rn と ^{220}Rn 及びそれらの娘核種によって放出されたものとして、 ^{220}Rn の計数値も次の式で算出できる。

$$^{220}\text{Rn} = \frac{C_1 + C_2 + C_3}{3} - ^{222}\text{Rn}$$

3.2 α トラック法

α トラック法では、電動オーガーで径 6 cm の観測孔を深度 80 cm まで掘さくし、その孔と同じサイズ (外径 6 cm, 長さ 80 cm) の塩化ビニル製の管を埋め込む。この管の深度 70 cm の位置に 2 cm \times 1.5 cm の硝酸セルロースフィルム (コダック製 LR-115 Type II) をクリップで吊し、管の上端はゴム栓で蓋をする (第 3 図 b)。玉石が多いために観測孔の掘さくが不可能な場所 (楕円断層の d 地点) では、底を切断したサンプル瓶の蓋に上記のフィルムを張って土壤中に埋めこむ方法をとった (第 3 図 c)。

このフィルムは約 1 週間後に回収し、ラドンの壊変に

よる α 線の衝突で表面にトラックを生じたフィルムを水酸化ナトリウム溶液でエッチングしてトラックの幅を 0.1 μm 以上に拡大させ、光学顕微鏡を用いてトラック密度 (トラック数 / $\text{cm}^2 \cdot \text{day}$) を計測する (加藤ほか, 1987)。

3.3 H_2 及び CO_2 の濃度測定

断層系から放出される H_2 及び CO_2 のガス濃度測定には、現場で簡便に使用できる装置を用いた。すなわち、 H_2 はセンサーテック製水素センサーで、また CO_2 については北川式二酸化炭素検知管によって、それぞれ測定した。

3.4 測定値の正規化

シンチレーションによる測定値 (cpm) 及び α トラック法によるトラック密度の値をほかの測線での値と比較し易くするために、正規化ラドン濃度に換算した。第 i 番目の正規化ラドン濃度 (R_i) は、その測定値 (C_i) を同一測線上の測定値の平均値 (M) で割った値で求められる。これを次の式で表す。

土壤ガス中のラドンによる関東平野北西部の活断層調査 (加藤 完ほか)

第1表 ラドンと二酸化炭素の濃度測定値
Table 1 Measured concentrations of radon and carbon dioxide.

Fault	Tachikawa		Fukaya		Kushibiki				Hirai			
Method	α	α	Sc.	Sc.	α	α	Sc.	Sc.	α	Sc.	Sc.	CO ₂
Year	1983	1983	1984	1985	1985	1985	1985	1985	1988-89	1988	1989	1989
No.	MA	MB	b	b	c	d	e	f	g	h	h	h
1	131	41	34	101	56	43	194	140	24	21	21	0.10%
2	119	39	13	90	103	42	83	86	8	9	22	0.06
3	131	15	19	60	47	48	73	89	6	78	52	0.20
4	33	124	9	64	119	42	104	100	6	23		0.05
5	34	61	37	84	169	44	146	42	13	51		0.07
6	16	14	5	88	210	50	90	129	8		0	0.05
7	30	302	25	113	404	87	92	153	25	154	22	0.20
8	18	18	17	83	118	56	67	185	8	155	119	0.30
9	189	49	36	143	352	85	140	158	11	73	52	0.15
10	121	202	40	122	73	59	138	166	13	25	1	0.10
11	271	20	22	89	161	89	81	51	39	86	64	0.17
12	78	20	53	74	173	121	167	81	32	30	17	0.16
13	444	24	33	77	76	90	86	68	25	16	1	0.10
14	204	28	17	83	262	48	72	78	18	36	16	0.12
15	248	32	23	94	80	58	80	144	7	46	31	0.20
16	124	18	58	149	139	77	5	165	9	93	17	0.19
17	173	23	70	202	183	79	26	149	42	136	60	0.60
18	78	251	121	235	194	31	42	50	56	66	50	0.60
19	118	39	122	184	506	35	46	64	9	57	8	0.16
20	129	7	89	184	288	28	27	85	12	50	1	0.10
21	713	26	96	61	308	28	35	170	9	88	31	0.14
22	299		105	88	320	39	88	68	100	107	63	0.16
23	546		29	61	113	58	56	93	73	131	83	0.34
24	159		55	72	132	38	98	128	12	38		0.30
25	391		52	101	21	68	132	125	6	108	83	0.20
26	172		43	88	280	87	68	182	3	41	31	0.50
27	507		55	55	284		108	125	12	43	8	0.08
28	49		22	104	59	29	92	93	10	5	27	0.26
29	63		135	135	387	36	122	85	19	43	75	0.64
30	445		31	128	266	29	95	114	28	132	14	0.22
31	49		83	156	490	32	74	97	6			
32	263		243	288		39	79	34	6	105	50	0.30
33	235		57	357		91	118	104	13	113	93	0.85
34	155		246	438		32	82	59	4	64	35	0.38
35	27		61	226		27	124	162	18	168	50	0.30
36	293		113	190		31	66	120		66		
37	10		85	180		41	72	125		3	9	0.15
38	16		85	112		29	68	191				
39	14		75	120		24	87	267				
40	13		131	115		28		237			154	0.90
41	13		151	160		22		302		206	1	0.26
42			72	146		37				109	57	0.70
43			79	131		53					62	0.42
44			40	106		39				44	80	0.34
45			53	164		21				147	7	0.14
46			58	193		33				107	50	0.28
47			22	83		37						
48			86	343		24						
49			80	159		25						
50			40	155		33						
51			64	134		33						
52						38						
53						40						
54						41						

Units for radon are : cpm in scintillation method, tracks/cm². day in α -track method.

第2表 ラドンと二酸化炭素の正規化濃度

Table 2 Normalized concentrations of radon and carbon dioxide.

Fault	Tachikawa		Fukaya		Kushibiki				Hirai			
Method	α	α	Sc.	Sc.	α	α	Sc.	Sc.	α	Sc.	Sc.	CO ₂
Year	1983	1983	1984	1985	1985	1985	1985	1985	1988-89	1988	1989	1989
No.	MA	MB	b	b	c	d	e	f	g	h	h	h
1	0.75	0.64	0.51	0.72	0.27	0.92	2.21	1.13	1.22	0.29	0.51	0.36
2	0.69	0.61	0.20	0.64	0.50	0.90	0.95	0.69	0.41	0.12	0.53	0.22
3	0.75	0.23	0.29	0.43	0.23	1.03	0.83	0.72	0.30	1.06	1.25	0.73
4	0.19	1.92	0.14	0.46	0.58	0.90	1.18	0.80	0.30	0.31		0.18
5	0.20	0.95	0.56	0.60	0.82	0.94	1.66	0.34	0.66	0.70		0.25
6	0.09	0.22	0.08	0.63	1.02	1.07	1.03	1.04	0.41		0.00	0.18
7	0.17	4.69	0.38	0.80	1.97	1.86	1.05	1.23	1.27	2.10	0.53	0.73
8	0.10	0.28	0.26	0.59	0.57	1.20	0.76	1.49	0.41	2.02	2.87	1.09
9	1.09	0.76	0.54	1.02	1.71	1.82	1.60	1.27	0.56	1.00	1.25	0.55
10	0.70	3.14	0.60	0.87	0.36	1.26	1.57	1.34	0.66	0.34	0.02	0.36
11	1.56	0.31	0.33	0.63	0.78	1.91	0.92	0.41	1.98	1.17	1.54	0.62
12	0.45	0.31	0.80	0.53	0.84	2.59	1.90	0.65	1.62	0.41	0.41	0.58
13	2.56	0.37	0.50	0.55	0.37	1.93	0.98	0.55	1.27	0.22	0.02	0.36
14	1.17	0.43	0.26	0.59	1.27	1.03	0.82	0.63	0.91	0.49	0.39	0.44
15	1.43	0.50	0.35	0.67	0.39	1.24	0.91	1.16	0.36	0.63	0.75	0.73
16	0.71	0.28	0.87	1.06	0.68	1.65	0.06	1.33	0.46	1.27	0.41	0.69
17	1.00	0.36	1.05	1.44	0.89	1.69	0.30	1.20	2.13	1.85	1.45	2.18
18	0.45	3.90	1.82	1.67	0.94	0.66	0.48	0.40	2.84	0.90	1.21	2.18
19	0.68	0.61	1.84	1.31	2.46	0.75	0.52	0.52	0.46	0.78	0.19	0.58
20	0.74	0.11	1.34	1.31	1.40	0.60	0.31	0.68	0.61	0.68	0.02	0.36
21	4.11	0.40	1.44	0.43	1.50	0.60	0.40	1.37	0.46	1.20	0.75	0.51
22	1.72		1.58	0.63	1.56	0.84	1.00	0.55	5.07	1.46	1.52	0.58
23	3.14		0.44	0.43	0.55	1.24	0.64	0.75	3.70	1.79	2.00	1.24
24	0.92		0.83	0.51	0.64	0.81	1.12	1.03	0.61	0.52		1.09
25	2.25		0.78	0.72	0.10	1.46	1.50	1.01	0.30	1.47	2.00	0.73
26	0.99		0.65	0.63	1.36	1.86	0.77	1.46	0.15	0.56	0.75	1.82
27	2.92		0.83	0.39	1.38		1.23	1.01	0.61	0.59	0.19	0.29
28	0.28		0.33	0.74	0.29	0.62	1.05	0.75	0.51	0.07	0.65	0.95
29	0.36		2.03	0.96	1.88	0.77	1.39	0.68	0.96	0.59	1.81	2.33
30	2.56		0.47	0.91	1.29	0.62	1.08	0.92	1.42	1.80	0.34	0.80
31	0.28		1.25	1.11	2.38	0.69	0.84	0.78	0.30			
32	1.51		3.66	2.05		0.84	0.90	0.27	0.30	1.43	1.21	1.09
33	1.35		0.86	2.54		1.95	1.34	0.84	0.66	1.54	2.24	3.09
34	0.89		3.70	3.12		0.69	0.93	0.47	0.20	0.87	0.84	1.38
35	0.16		0.92	1.61		0.58	1.41	1.30	0.91	2.29	1.21	1.09
36	1.69		1.70	1.35		0.66	0.75	0.97		0.90		
37	0.06		1.28	1.28		0.88	0.82	1.01		0.04	0.22	0.55
38	0.09		1.28	0.80		0.62	0.77	1.54				
39	0.08		1.13	0.85		0.51	0.99	2.15				
40	0.07		1.97	0.82		0.60		1.91			3.71	3.28
41	0.07		2.27	1.14		0.47		2.43		2.81	0.02	0.95
42			1.08	1.04		0.79				1.49	1.37	2.55
43			1.19	0.93		1.14					1.50	1.53
44			0.60	0.75		0.84				0.60	1.93	1.24
45			0.80	1.17		0.45				2.00	0.17	0.51
46			0.87	1.37		0.71				1.46	1.21	1.02
47			0.33	0.59		0.79						
48			1.29	2.44		0.51						
49			1.20	1.13		0.54						
50			0.60	1.10		0.71						
51			0.96	0.95		0.71						
52						0.81						
53						0.86						
54						0.88						

$$R_i = \frac{C_i}{M}$$

以下、とくに断らないかぎり正規化ラドン濃度を単にラドン濃度と記す。

4. 探査結果

今回実施した Rn 及び CO₂ の測定結果を第 1 表に、それらの正規化濃度を第 2 表にそれぞれ示す。

4.1 立川断層

本断層を対象とするラドン探査は、東京都瑞穂町箱根ヶ崎の JR 八高線箱根ヶ崎駅と金子駅間の線路東側 (第 1 図の a 地点) で、α トラック法によって 1983 年 8 月から同 10 月まで計 4 回実施した。この地点では、撓曲崖を横切る形で MA と MB の 2 本の測線を設置した (第 4 図)。

MA 測線は長さ 300 m で、観測孔は 10 m 間隔、撓曲崖 (MA No. 11-28) では 5 m 間隔で 41 ヶ所設置した。この測線は山崎 (1978) の箱根ヶ崎北部 Sec. 9 に相当し、その垂直変位量は 3.8 m である。

MB 測線は長さ 130 m、観測孔は同じく 10 m 間隔、撓曲崖 (MB No. 9-21) では 5 m 間隔で 21 箇所設置した。

両測線とも撓曲崖で高いラドン濃度を示す (第 5 図)。また MA 測線上のトラック密度の平均値は MB 測線上のものに比べて 2.7 倍であった (第 1 表)。この理由については後述する。

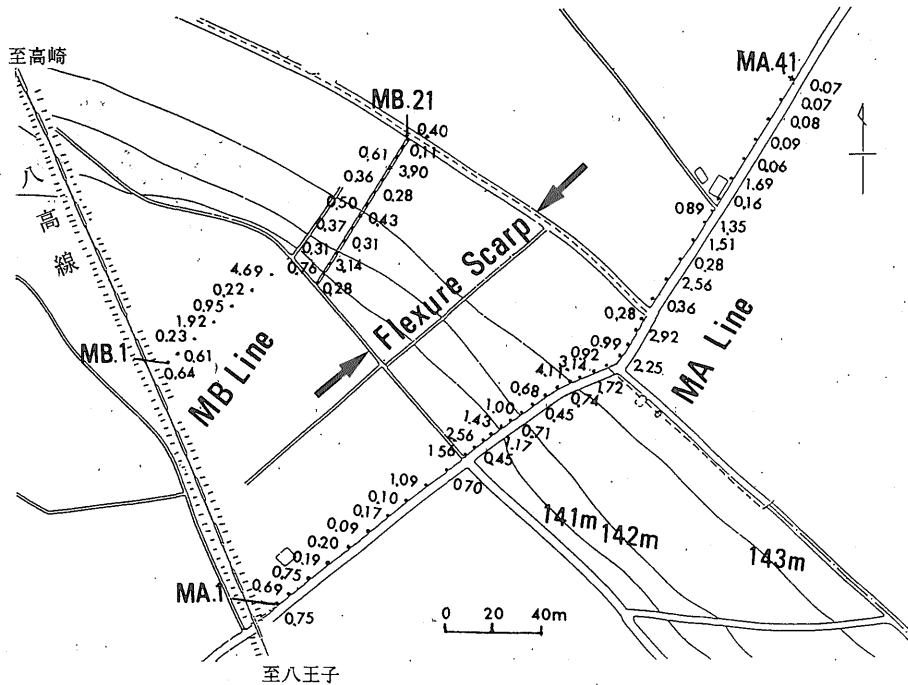
4.2 深谷断層

本断層を対象とするラドン探査は、シンチレーション法によって埼玉県熊谷市大字拾六間の航空自衛隊熊谷基地敷地内 (第 1 図の b 地点) で実施した。観測孔は南西側隆起の撓曲崖を横切る 350 m の測線上に 10 m 間隔、撓曲崖 (No. 9-39) では 5 m 間隔で 51 箇所設置した (第 6 図)。測定は 1984 年 7 月と 1985 年 3 月の計 2 回実施した。ラドン濃度は 2 回ともほぼ同じパターンを示した。その平均値を第 7 図に示す。主要なピークはいずれも撓曲崖上 (No. 18-20, No. 32-34) に、二次的なピークが断層下盤側の No. 41, No. 48 に現れた。

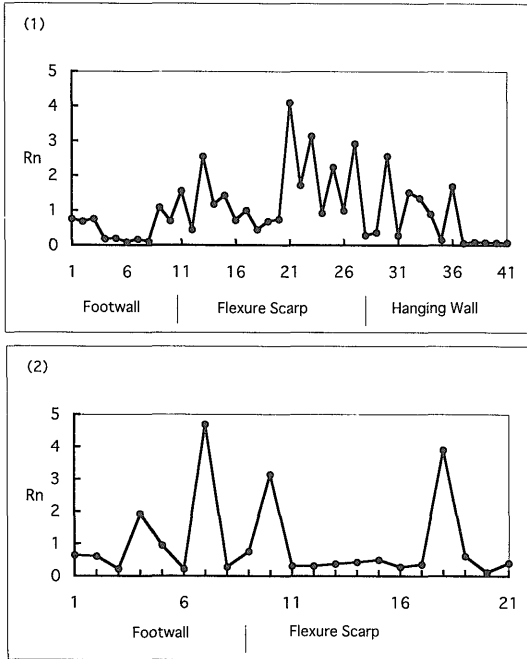
4.3 櫛挽断層

本断層を対象とするラドン探査は第 1 図の c・d・e・f 地点で実施した (第 8 図)。その結果得られたラドン濃度を第 9 図に示す。

c 地点では、埼玉県寄居町の関越自動車道用土陸橋の東側の撓曲崖を中心として、長さ 300 m の測線上に観測



第 4 図 立川断層上の観測孔配置図 数字は正規化ラドン濃度を示す。
 Fig. 4 Location of observation holes across the Tachikawa fault.
 Numbers are normalized radon concentrations.



第5図 立川断層上の正規化ラドン濃度

縦軸は正規化ラドン濃度、(1) MA 測線、(2) MB 測線、横軸はいずれも観測点番号。

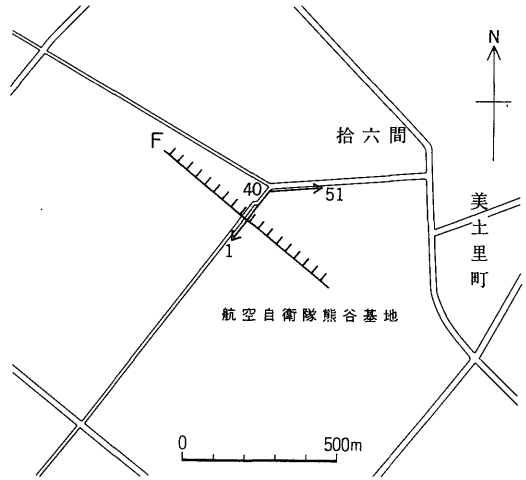
Fig. 5 Normalized radon concentrations across the Tachikawa fault.

X-axis: No. of observation point; y-axis: normalized radon concentrations (Rn). (1) Survey-line MA, (2) Survey-line MB,

孔を10m間隔で31箇所設置した(第8図のc測線)。

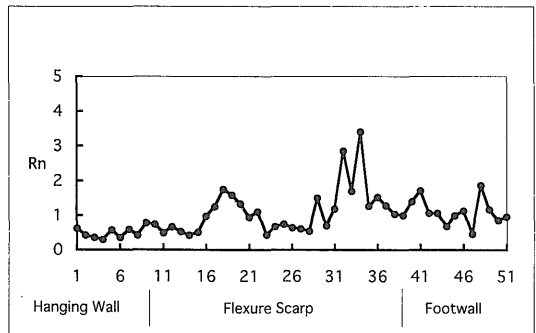
測定はαトラック法で1985年8月から同10月にかけて5回実施し、その平均値からラドン濃度を求めた。ピークは撓曲崖上(No.10-20)のほかに、断層の上盤側(No.21-22, No.26-27, No.29-31)と下盤側の撓曲崖直近(No.7とNo.9)にもそれぞれ現れた(第9図(1))。

d地点付近は小山川の沖積面で断層地形は認められない。探査は小山川右岸のJR八高線鉄橋際から上宿橋までの堤防上で、αトラック法によって実施した。堤防の構成材料である玉石層のために観測孔の掘さくが不可能だったので、サンプル瓶を土中に埋めこむ方法を用いた(第3図c)。測定は長さ530mの測線上に10m間隔で設置した54箇所の観測点について、1986年11月から1987年1月にかけて計4回実施した(第8図のd測線)。得られたトラック密度を平均してラドン濃度を算出した。その結果を第9図(2)に示す。ラドン濃度のピークは、No.7-17の100mの区間及びNo.25-26と



第6図 航空自衛隊熊谷基地内の深谷断層上の観測孔配置図
F: 撓曲崖

Fig. 6 Location of observation holes across the Fukaya fault; Kumagaya Air-Force Base.
F: flexure scarp.



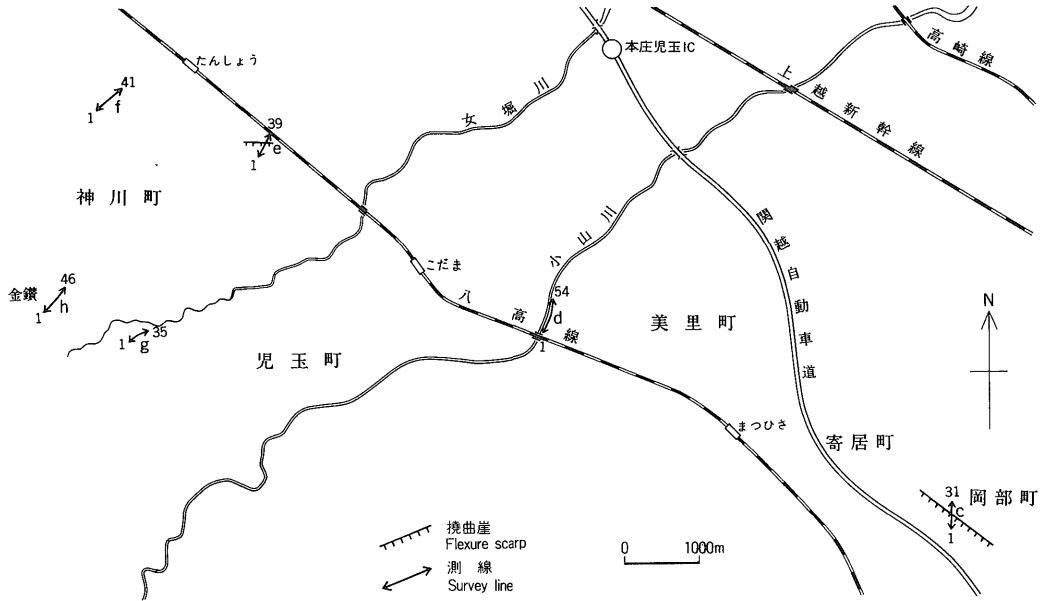
第7図 深谷断層b測線上の正規化ラドン濃度
軸は第5図に同じ。

Fig. 7 Distribution of normalized radon concentrations on Survey-line b across the Fukaya fault.

Axes are the same as Fig. 5.

No. 33に現れた。

e地点での探査は、埼玉県児玉町保木野集落北側の九郷用水(断層線)を中心として、シンチレーション法で実施した。長さ380mの測線上に観測孔を10m間隔で39箇所設置した。観測孔No.24-30は撓曲崖上に位置する(第8図のe測線)。測定は1987年7月と1988年3月の計2回実施し、その平均値を基にラドン濃度を算出した。これを第9図(3)に示す。ラドン濃度のピークは、



第8図 櫛挽断層と平井断層を横切る測線の観測孔配置図

(1) 測線 c, (2) 測線 d, (3) 測線 e, (4) 測線 f

Fig. 8 Location map showing the survey lines across the Kushibiki and Hirai faults.
(1) Survey-line c, (2) d, (3) e, (4) f.

撓曲崖上 (No. 25 と No. 29), 断層の上盤側 (No. 33 と No. 35) と下盤側 (No. 1, No. 5, No. 9-10, No. 12) の 3 箇所に現われた。

f 地点でのラドン探査は, 神流川右岸沖積面上の断層地形が認められない神川町貫井集落と植竹第二集落を結ぶ道路に沿って, 長さ 400 m の測線上に観測孔を 10 m 間隔で 41 箇所設置して, シンチレーション法で実施した (第 8 図の f 測線)。1987 年 7 月と 1988 年 3 月の計 2 回の測定値の平均値から求めたラドン濃度を第 9 図 (4) に示す。そのピークは No. 8, No. 26, No. 38-41 に現れた。

以上の測定結果をまとめると, 本断層におけるラドン濃度の主要なピーク位置は, c 測線と e 測線では撓曲崖及び断層の上盤側と下盤側に現われた。一方 d 測線と f 測線ではピークが多数現われたが, 小山川と神流川の沖積面にあたるため地形上の特徴がなく, 断層の位置は特定できなかった。

本断層の e 測線と f 測線で H₂ の濃度測定を行ったが, 大気レベル (0.5 ppm) 以上の濃度は検出されなかった。

4.4 平井断層

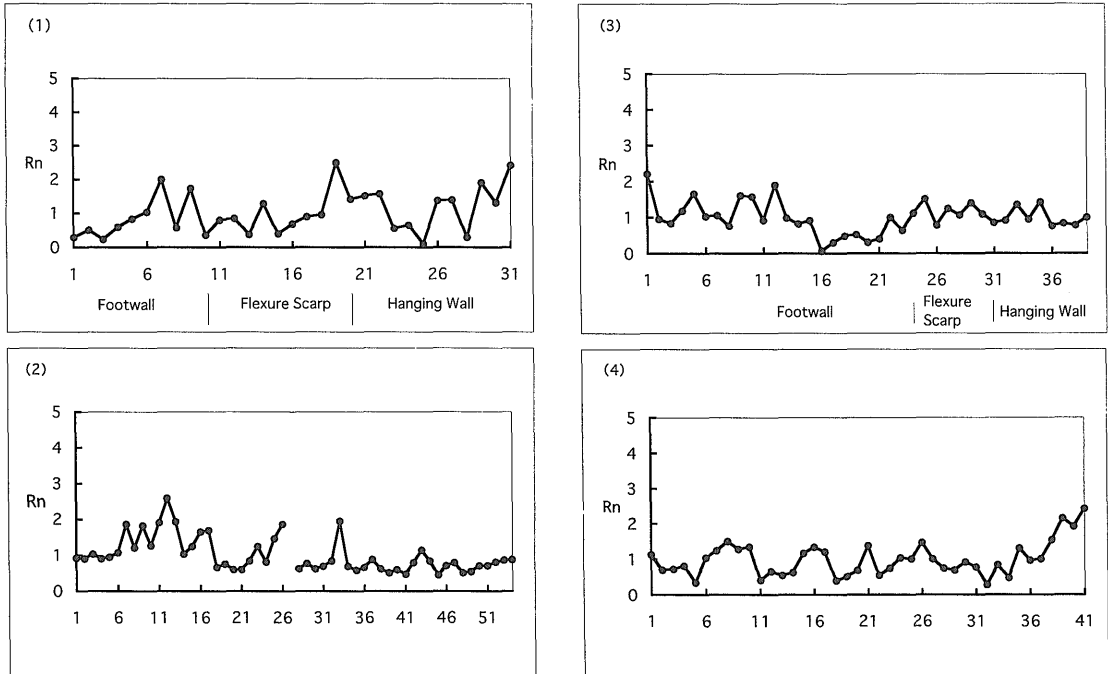
本断層を対象とするラドン探査は, 沖積面上において

断層上と予想される 2 箇所 (第 1 図の g・h 地点) で実施した。

g 地点では, 女堀川を渡り山崎集落に至る道路際の長さ 340 m の測線上に, 観測孔を 10 m 間隔で 35 箇所設置した (第 8 図の g 測線)。本測線上では深度 1 m のシンチレーション用観測孔を掘さくしたが, 地下水位が高く測定が不可能なため, αトラック法で測定した。1988 年 6 月から 1989 年 3 月にかけて計 4 回実施し, その平均値から求めたラドン濃度を第 10 図 (1) に示す。測線上の中央の 3 箇所 (No. 11-12, No. 17-18, No. 22-23) にピークが現われた。

h 地点では金鑽神社から流出する小川の右岸に沿って, 長さ 450 m の測線上に観測孔を 10 m 間隔で 46 箇所設置し, シンチレーション法でラドン濃度測定を 1988 年 6 月 29 日と 1989 年 3 月 13 日の 2 回実施した (第 8 図の h 測線)。その平均値を第 10 図 (2) に示す。またこの地点では同時に CO₂ と H₂ の濃度測定も実施した。これらのうち H₂ 濃度は大気レベルにとどまった。

1989 年 3 月 13 日に測定した Rn と CO₂ の濃度は, 弱いながらも正の相関を示す (第 11 図)。



第9図 櫛挽断層上の正規化ラドン濃度 軸は第5図に同じ。

Fig. 9 Distribution of normalized radon concentrations on Survey-line c across the Kushibiki fault. Axes are the same as Fig. 5.

5. 考 察

断層による撓曲崖を挟んでその上盤側から下盤側まで設置された立川MA、深谷b、櫛挽c及び櫛挽eの各測線について、上盤側、撓曲崖、下盤側に属するそれぞれ測定値の平均値を求めて比較した。その結果を第12図、第13図、第14図に示す。やや詳しく調べるために撓曲崖の上盤側と下盤側をそれぞれ2区間に細分して図示した。

これらの図とラドン濃度の測定結果から判明した事実をもとに、以下のような考察を加える。

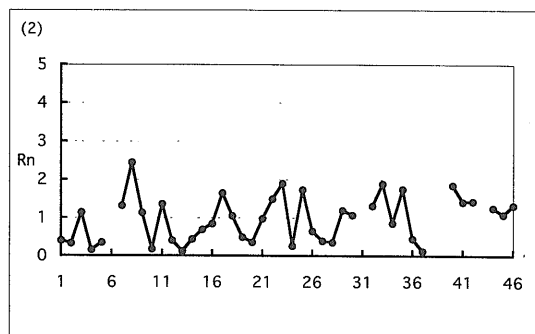
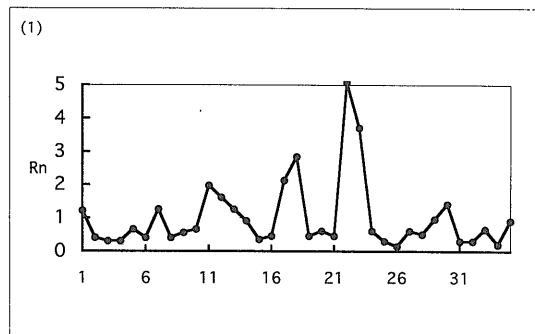
まず、立川断層ではラドン濃度の顕著なピークが撓曲崖を中心として現れた。立川断層は、調査地付近では上総層群が約70mの北東側隆起の垂直変位を受け入れている(山崎, 1978)のために、基盤の食い違いが比較的地表近くまで達していると考えられる。このような現象は、伊豆半島丹那断層系(加藤ほか, 1981)、神縄断層及び国府津-松田断層(加藤ほか, 1982)で見られるものと同じである。これらの断層系は基盤が浅く、かつ堆積層も薄いために、基盤の食い違いが地表に明確なずれとして現

れ、断層沿いにラドンが上昇するために断層付近にシャープなラドン濃度のピークが現れる。

深谷断層では撓曲崖上に加えて下盤側でもラドンが高濃度を示し、これは深谷断層では立川断層に比べて断層上に未固結の堆積物が厚く堆積していることの反映と考える。櫛挽断層のc測線・e測線では、撓曲崖を中心としてラドン濃度の多数のピークが現れた。櫛挽断層付近の堆積層は、深谷断層は比してさらに厚いために基盤の食い違いが地表では不明瞭になっており、撓曲崖に沿う幅広い断裂が生じたためと推定する。

櫛挽断層のe測線とf測線及び平井断層のh測線で行った水素濃度の測定では、大気レベル以上の水素は検出されなかった。加藤ほか(1989)は、岩石破壊実験からAEの発生、クラックの新鮮な面と水との反応で水素が発生し、新鮮な面の増加が停止すれば水素の放出も終わるとしている。櫛挽断層は1931年の西埼玉地震の際に東端部が活動したとされている(Abe, 1974)。今回水素濃度の異常が検出されなかったのは、その地震の断層活動から既に長い時間が経過しているためと考える。

伊豆半島の年川断層と加殿断層(加藤ほか, 1981)と

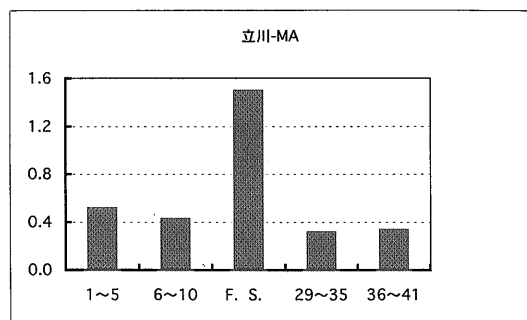


第10図 平井断層上の正規化ラドン濃度

(1) 測線 g, (2) 測線 h, 軸は第5図に同じ.

Fig. 10 Distribution of normalized radon concentrations on Survey-line d across the Kushibiki fault.

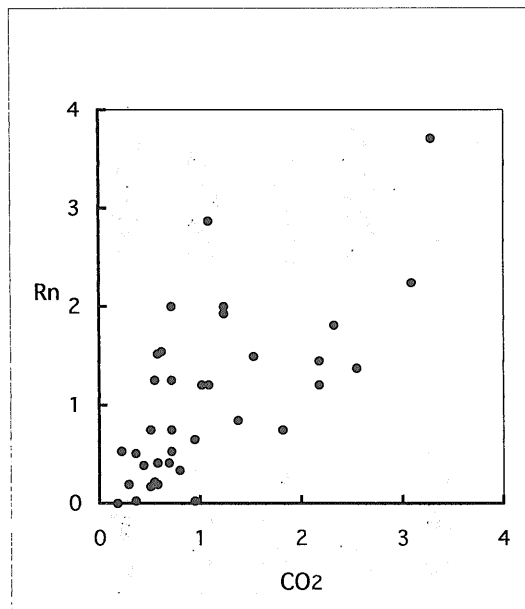
(1) Survey-line g, (2) Survey-line h. Axes are the same as Fig. 5.



第12図 立川断層 MA 測線上の平均正規化ラドン濃度の分布 横軸は観測点, F.S.: 撓曲崖.

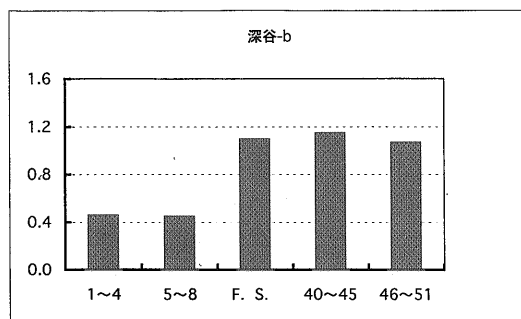
Fig. 12 Distribution of average normalized radon concentrations on Survey-line MA across the Tachikawa fault.

X-axis: survey points, F.S.: flexure scarp.



第11図 平井断層 h 測線上の正規化ラドン濃度と正規化二酸化炭素濃度の相関

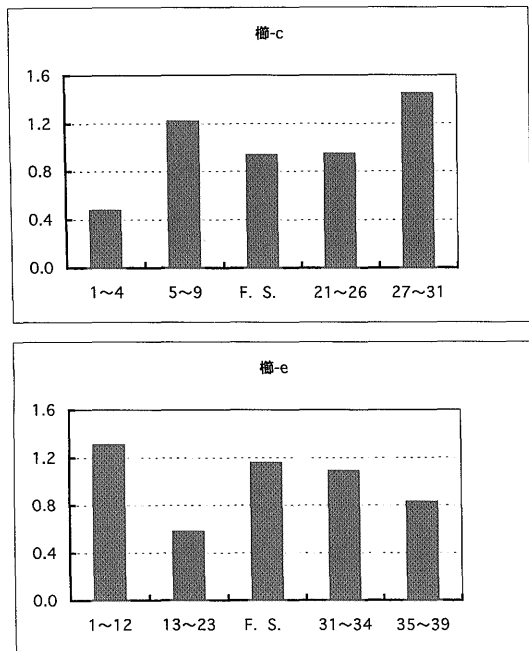
Fig. 11 Correlation between normalized radon and normalized carbon dioxide on Survey-line h across the Hirai fault.



第13図 深谷断層 b 測線上の平均正規化ラドン濃度の分布 軸は第13図に同じ.

Fig. 13 Distribution of average normalized radon concentrations on Survey-line b across the Fukaya fault. Axes are the same as Fig. 12.

神縄断層 (加藤ほか, 1982) で測定した Rn と CO₂ は、ともに断層近くで高い濃度を示し、両者のパターンは極めて良く似ている。脇坂 (1995) は全国 8 箇所で行った活断層付近の土壤ガス中の CO₂ 濃度測定から、CO₂ が断層位置の探査に用いることができる場合が多いとしてい



第14図 櫛挽断層上の平均正規化ラドン濃度の分布
(c) 測線, (2) e測線, 軸は第12図に同じ。

Fig. 14 Distribution of average normalized radon concentrations on Survey-line b across the Fukaya fault.

(1) Survey-line c, (2) Survey-line e, axes are the same as Fig. 12.

る。平井断層付近の h 測線でも, Rn と CO₂ の間に正の相関が認められた。この付近には三波川結晶片岩とその北東に分布する新第三紀層との境界断層があり(東京都防災会議, 1977), その断層に伴う幅広い断層破碎帯が存在するためと推察する。以上のことから, Rn と CO₂ の濃度測定を併用することによって, 断層系の有無と分布位置をより確実に推測することができる。

立川断層付近で測定した α トラック密度の平均値が, MA 測線上では MB 測線上の 2.7 倍を示した。その理由は, MA 測線は耕されることの少ない桑畑の中に, MB 測線は年間を通じて良く耕される野菜畑の中に, それぞれ位置するためとみられる。すなわち, MA 測線のラドンは MB 測線のものに比べて土中に長く滞留するために, その壊変による α トラックが相対的に多く生じたと考える。

6. ま と め

シンチレーション法と α トラック法によるラドン探

査の結果, 立川断層の MA 測線では撓曲崖を中心に, 深谷断層の b 測線では撓曲崖と下盤側に高いラドン濃度が測定された。また櫛挽断層の c 測線と e 測線では, 撓曲崖のほか断層の上盤側及び下盤側にわたる広い範囲に高いラドン濃度が測定された。この理由は, 立川断層では基盤の食い違いが地表近くまで延びているのに対し, 深谷断層では立川断層よりも未固結の堆積物が厚いため基盤の食い違いが地表近くまでは延びておらず, また櫛挽断層では堆積物がこれら3つの断層の中で最も厚く, 断層の位置の推定を困難にしていると考えられる。

平井断層(h 測線)における CO₂ 濃度は Rn 濃度と正相関を示しており, 同じ断層系から湧出したものと考えられる。シンチレーション法による Rn 濃度測定と二酸化炭素検知管による CO₂ 濃度測定は, どちらも簡便かつ現場で測定が可能であり, 両手法の併用が断層系の有無と分布位置を推測するためのより確実な手法といえよう。

謝辞 本研究を行うにあたり関東平野北西部の活断層については, 東京都立大学山崎晴雄助教授(元, 当所環境地質部)に現地を案内していただき有益な助言と協力をいただいた。現地調査にあたっては観測孔設置場所を貸与して下さった関係各位に厚く謝意を表します。

文 献

- Abe, K. (1974) Seismic displacement and ground motion near a fault: the Saitama earthquake of September 21, 1931. *J. Geophys. Res.*, **79**, 4393-4399.
- 加藤 完・池田喜代治・高橋 誠・永田松三・柳原親孝・伊藤吉助 (1981) α トラック法による伊豆半島の活断層調査. 地調月報, **32**, 199-212.
- 加藤 完・池田喜代治・高橋 誠・永田松三・柳原親孝・伊藤吉助 (1982) α トラック法による神縄および国府津-松田断層地域の調査. 第四紀研究, **21**, 67-74.
- 加藤 完・高橋 誠・吉川清志 (1987) α トラック法による活断層モニタリングとその観測条件の検討. 地調月報, **38**, 515-526.
- 加藤 完・西澤 修・楠瀬勤一郎・風早康平 (1989) 一軸圧縮過程のウェスタリー-花崗岩から放出される水素とラドン濃度の変動 (2). 地震, **42**, 67-72.
- 活断層研究会編 (1991) 100 万分の 1 日本活断層図.

水林 修・佐竹 洋・木村郁彦 (1986) 跡津川断層における H_2 モニターによる水素の連続測定. 日本地球化学会講演要旨集, 143 p.

Rose, A. W, Hawkes, H. E. and Webb, J. S. (1979) Geochemistry in mineral exploration. Second edition, Academic Press, 657 p.

東京都防災会議 (1977) 東京直下型地震に関する

調査 (その四). 183-189.

脇坂安彦 (1995) 土壤ガスによる断層位置の探査. ダム技術, no. 109, 30-43.

山崎晴雄 (1978) 立川断層とその第四紀後期の運動. 第四紀研究, 16, 231-246.

(受付: 1995年12月19日; 受理: 1996年4月26日)